

دراسة مختبرية لتخمين الرسوبيات المزالة من مقدم السدود الغاطسة باستخدام المنافذ السفلية

د. مؤيد سعد الله خليل**
**أستاذ مساعد
قسم هندسة السدود والموارد المائية
كلية الهندسة- جامعة الموصل

أكرم خلف محمد*
*طالب ماجستير
قسم هندسة السدود والموارد المائية
كلية الهندسة- جامعة الموصل

المستخلص

أجريت في هذا البحث سلسلة من التجارب المختبرية الهدف منها حساب كمية الرسوبيات المزالة من مقدم السدود الغاطسة بوجود فتحات سفلية في جسم السد. أجريت التجارب في قناة مختبرية بطول (24.6 م) وعرض (0.81 م). تم إمرار ستة تصاريح مع كل تصريف تم استخدام ثلاث تراكيز للرسوبيات عن طريق اضافتها مقدم السد الغاطس. أظهرت نتائج الدراسة أن هناك علاقة طردية بين مساحة الفتحات السفلية وكمية الرسوبيات المزالة وأن عمق التكدس في المنطقة القريبة من موقع السد الغاطس يقل مع زيادة عدد الفتحات السفلية كما لوحظ أن كمية الرسوبيات المزالة تزداد بزيادة رقم فرود. تم صياغة معادلة وضعية لحساب كمية الرسوبيات المزالة بدلالة مساحة الفتحات وبمعامل تحديد (0.895) حيث وجد من نتائج المعادلة أن النسبة المئوية لقيم أعلى وأقل فرق بين كمية الرسوبيات المزالة المقاسة والمحسوبة هي (15.7، 0.2) على التوالي.

الكلمات الدالة: الرسوبيات المزالة، السدود الغاطسة، المنافذ السفلية.

Laboratory Study For Estimating The Removing Sediment From Upstream Weirs Using Bottom Outlets

Akram Kh. Mohammed.*

Dr. Moayad S. Khaleel.**

Abstract

In this research, a series of laboratory experiments were carried out to estimate the removing sediment amount from upstream weirs using bottom outlets. The experiments were conducted in a laboratory channel (24.6 m) in length and (0.81 m) wide, in middle of which a weir was fixed. Six discharges were allowed to flow with, three different sediment concentration for each. The results showed that there is a direct relation between the area of the holes, Froude number and the amount of sediment removed, the depth of aggradation near weir location decreases with increasing the number of holes. A dimensionless equation was created to compute the amount of sediment removed in terms of area of the holes with a coefficient of determination (0.895) and the percentage of the highest and lowest difference between the measured and calculated sediment amount were (15.7, 0.2), respectively.

المقدمة

تعد الأنهار أحد المصادر المهمة للماء في الطبيعة ومركز النشاطات البشرية منذ بداية الحضارة. إلا أن هذا المصدر المهم والحيوي يتعرض إلى العديد من المشاكل التي تنتج عن الظواهر الطبيعية أو عن تدخل البشر. لذلك برزت الحاجة إلى إقامة المنشآت الهيدروليكية المختلفة للسيطرة على مصادر المياه وحمايتها ومن هذه المنشآت السدود والنواظم وغيرها. لكن بالرغم من أهمية تلك المنشآت إلا أنها تؤدي إلى تغيير نظام الجريان في الأنهار وبالتالي ظهور العديد من المشاكل مثل ظاهرة تكديس الرسوبيات (Sediment Aggradation). تحدث هذه الظاهرة إذا كان معدل حمل الرسوبيات الداخلة إلى المجرى أكبر من تلك التي تخرج منه عندها سيكون المجرى المائي عاجزاً عن حمل جميع الرسوبيات مما يؤدي إلى ارتفاع منسوب قاع النهر. قام العديد من الباحثين بدراسة ظاهرة انتقال وتكدس الرسوبيات في القنوات والخزانات لأهميتها في مجال السيطرة على الأنهار وخصوصاً تصميم السدود والنواظم وغيرها من المنشآت، مثل الباحثان الفيس وكاردوسو [2] اللذان قدما دراسة مختبرية لتأثير حمل الرسوبيات على شكل القاع ومعدل انتقال الرسوبيات ومعدل عمق التكدس، والباحث ماكولف وآخرون [6] اللذين قاموا بدراسة مشكلة التكدس في القنوات نتيجة إنشاء السدود الصغيرة في المجاري المائية الزراعية في ولاية نبراسكا- الولايات المتحدة، والباحث جريمان [5] الذي قام بدراسة انتقال وتكدس الرسوبيات باتجاه مؤخر المجرى، والباحث يوسف [1] الذي درس ظاهرة التكدس مقدم السدود في قناة مختبرية، والباحثان رحمن وعبد المتين [3] اللذان قدما طريقة نمذجة عددية للتغيرات التي تطرأ على قاع المجرى المائي نتيجة الزيادة في حمل الرسوبيات والتي تنتج عنها ظاهرة التكدس، والباحث الجوهري وآخرون [4] حيث قاموا بإجراء دراسة تهدف إلى تطوير نموذج أمثليه متكامل للسيطرة على تكدس ونقل الرسوبيات في القنوات المفتوحة وذلك لتقليل التغيرات التي تحدث في قاع المجرى.

من الواضح من المصادر العلمية المتوفرة إن استخدام المنشآت الهيدروليكية كالهدارات أو السدود يؤدي إلى تغيير في هيدروليكية الجريان في النهر أو المجرى المائي وإن إحدى هذه التغييرات هي حدوث ظاهرة تكدس الرسوبيات في مقدم المنشأ. إن إحدى الطرق المستخدمة لإزالة قسم من هذه الرسوبيات هي باستخدام الفتحات السفلية (Bottom Outlets) في جسم المنشأ، لكن ما هو متوفر في المصادر لا يوضح مدى تأثير هذه الفتحات وخواصها في إزالة الرسوبيات. في هذا البحث تمت دراسة كمية الرسوبيات المتكدسة والمزالة من مقدم سد غاطس (هدار) يوضع في قناة مختبرية وذلك باستخدام فتحات دائرية في أسفل جسم السد وبثلاثة حالات، بوجود فتحة واحدة ثم فتحتين ثم ثلاثة فتحات في أسفل الهدار تفصلها مسافات متساوية.

العمل المختبري

أجريت التجارب في مختبر الهيدروليك-قسم هندسة السدود والموارد المائية في جامعة الموصل باستخدام قناة مفتوحة مشيدة من الخرسانة مستطيلة المقطع ذات قعر أفقي ومتماسك بطول (24.65) م وعرض (0.81) م وعمق (0.75) م كما موضح في الشكل (1). تم استخدام الرمل النهري (رمل الخازر) لتمثيل الرسوبيات حيث كان معدل قطر جزيئات الرمل ($D_{50} = 0.584 \text{ mm}$) والانحراف المعياري ($1.97 =$). أجريت عملية تغذية الرسوبيات بواسطة جهاز تغذية مهيأ لهذا الغرض (Sediment Feeder) كما تم استخدام مصيدة (Sediment Trap) لجمع الرسوبيات الخارجة من الفتحات السفلية. تم صنع نموذج السد الغاطس باستخدام مادة البلاستيك الشفاف بأبعاد (20×81) سم. تم عمل ثلاثة فتحات سفلية في قاعدة السد الغاطس بقطر (2) سم ويمكن غلق وفتح هذه الفتحات باستخدام سدادة بلاستيكية. تم إجراء (54) تجربة موزعة على ثلاثة أجزاء، اشتمل الجزء الأول على (18) تجربة لدراسة تقليل كمية المواد المترسبة مقدم السد الغاطس باستخدام فتحة سفلية واحدة حيث تم إمرار (6) تصاريح و (3) تراكيز للرسوبيات لكل تصريف، ثم استخدام فتحتين ثم ثلاث فتحات لنفس التصاريح وتراكيز الرسوبيات. تتم إضافة الرسوبيات خلال زمن قدره (120) دقيقة في كل تجربة ثم يترك الجريان بعد ذلك لمدة (120) دقيقة أيضاً ليكون زمن التجربة الواحدة (240) دقيقة. بعد ذلك يتم أخذ مناسيب شكل القعر المتكون نتيجة التكدس بعمل تشبيك ثلاثي الأبعاد يتضمن (3) مقاطع طولية و (17) مقطع عرضي وكما موضح في الشكل (2)، ثم تُجمع الرسوبيات العابرة في مصيدة الرسوبيات وتجفف وتوزن ليتم مقارنتها مع الكمية المضافة ومعرفة تأثير الفتحات على كمية الرسوبيات المتكدسة مقدم السد الغاطس.

خلال الفتحات السفلية هي التصريف المار في القناة (Q) وتركيز الرسوبيات (C) وعمق الجريان (h) وميل القناة (S_o) ونسبة مساحة الفتحات السفلية إلى مساحة السد الغاطس ($\frac{A_{bo}}{A_w}$) وكمية الرسوبيات الكلية المضافة (W_t) ومعدل قطر جزيئات الرسوبيات (D_{50}) وانحرافها المعياري (σ) وكثافة الرسوبيات (ρ_s) وكثافة الماء (ρ_w) ولزوجة الماء (ν) والتعجيل الأرضي (g). حيث تم اجراء عملية تحليل بعدي للمتغيرات أعلاه وكانت النتيجة كالتالي:

$$\frac{W}{W_t} = f\left(F_R, \frac{\rho_s}{\rho_w}, Re, \frac{A_{bo}}{A_w}, \frac{D_{50}}{h}, S_o, C\right) \quad \dots \dots \dots (1)$$

يمكن حذف بعض العوامل من العلاقة (1) لكونها ثابتة في هذه الدراسة مثل (D_{50}) و (σ) و (S_o) وأخرى لقلّة تأثيرها مثل (Re) و ($\frac{\rho_s}{\rho_w}$) وبالتالي ستكون الصيغة النهائية للعلاقة أعلاه كما يلي:

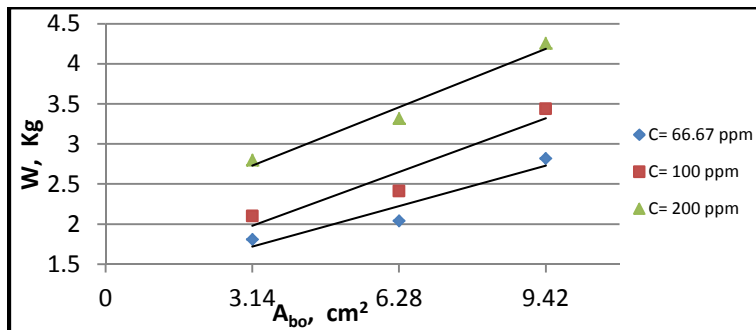
$$\frac{W}{W_t} = f_1\left(\frac{A_{bo}}{A_w}, F_R, C\right) \quad \dots \dots \dots (2)$$

النتائج والمناقشة

1. تأثير مساحة الفتحات السفلية على كمية الرسوبيات المزالة:

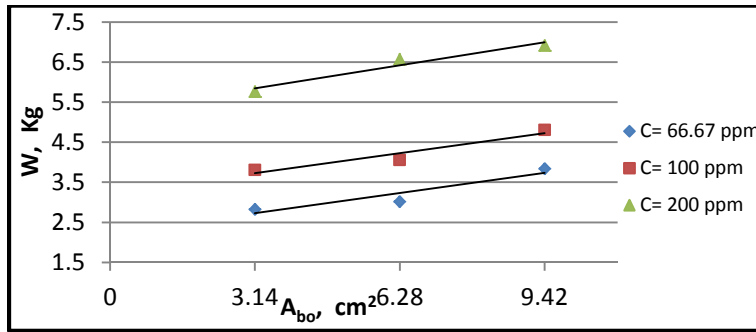
تم تحليل البيانات المختبرية المتعلقة بكمية الرسوبيات المزالة ومساحة الفتحات والمفصلة في الجدول (1) ورسم العلاقة بينهما في حالة ثبوت التصريف وتركيز الرسوبيات، والأشكال (3) و (4) و (5) توضح هذه العلاقة، حيث تبين أن هناك علاقة طردية بين مساحة الفتحات وكمية الرسوبيات المزالة وذلك لأنه في حالة زيادة مساحة الفتحات يزداد تصريف المياه عبر المنافذ السفلية وبالتالي يكون هناك منفذ أكبر لعبور الماء المحمل بالرسوبيات إلى الخارج، وتزداد الكمية العابرة أيضاً بزيادة التركيز.

كما تم رسم العلاقة بين المسافة (X) وعمق التكدس (Z) في الشكل (6) عند تصريف مقداره (41 لتر/ثا) كنموذج لهذه الحالة في حالة استخدام فتحة سفلية واحدة ثم فتحتين ثم ثلاث فتحات، يتبين من الشكل أن عمق التكدس في المنطقة القريبة من موقع السد الغاطس يقل مع زيادة عدد الفتحات السفلية والسبب في ذلك يعود أيضاً إلى الزيادة في مساحة منفذ عبور الرسوبيات إلى الخارج.

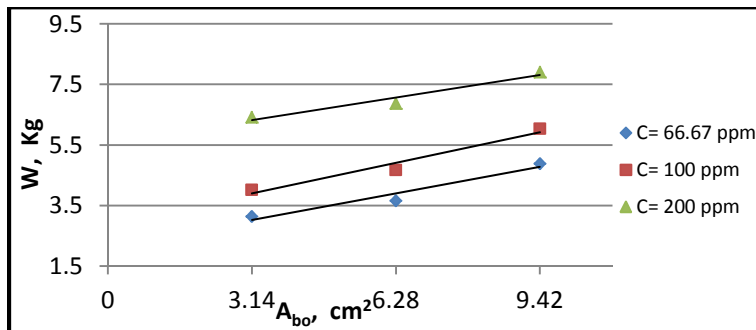


الشكل (3): العلاقة بين مساحة الفتحات وكمية الرسوبيات المزالة للتصريف (30 لتر/ثا).

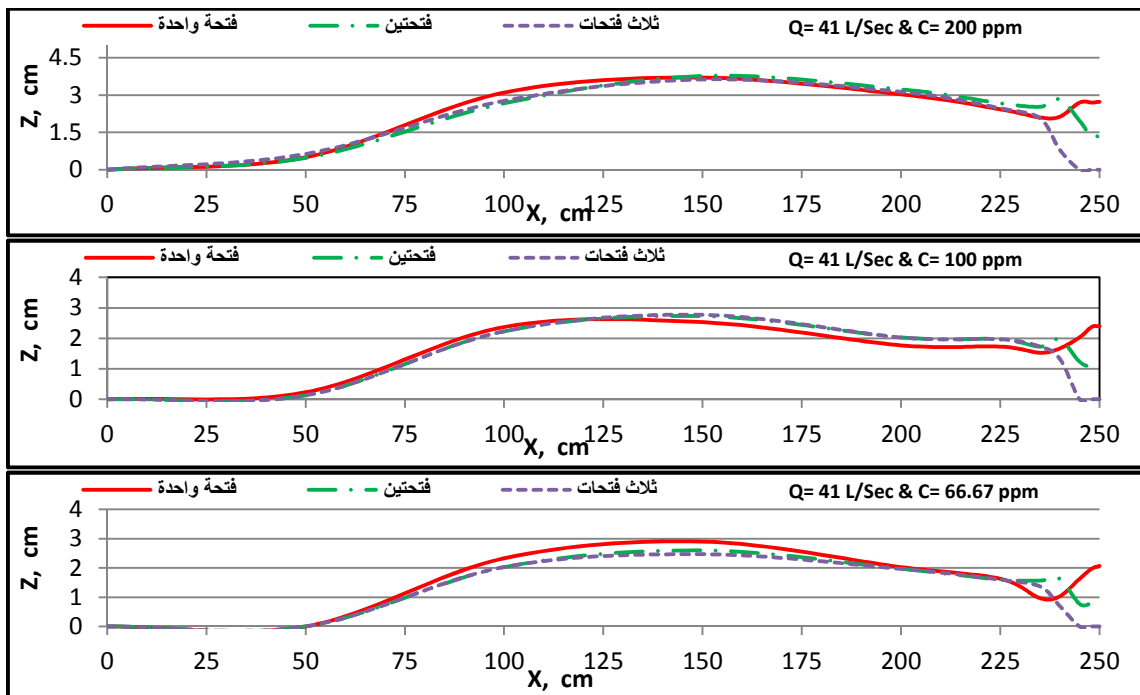
خليل: دراسة مختبرية لتخمين الرسوبيات المزالة من مقدم السدود الغاطسة باستخدام المنافذ السفلية



الشكل (4): العلاقة بين مساحة الفتحات وكمية الرسوبيات المزالة للتصريف (41 لتر/ثا).



الشكل (5): العلاقة بين مساحة الفتحات وكمية الرسوبيات المزالة للتصريف (50 لتر/ثا).



الشكل (6): شكل الفعر المتكون عند تصريف (41 لتر/ثا).

2. تأثير رقم فرود على كمية الرسوبيات المزالة:

أجري تحليل البيانات المخبرية المتعلقة برقم فرود وكمية الرسوبيات المزالة الموضحة في الجدول (1) ورسمت العلاقة بين رقم فرود (Fr) وكمية الرسوبيات المزالة (W) في حالة ثبوت تركيز الرسوبيات كما موضح في الأشكال (7) و (8) و (9)، وتبين من خلال ذلك أن هناك علاقة طردية بين رقم فرود وكمية الرسوبيات المزالة لأن زيادة التصريف ينتج عنها زيادة في السرعة مما يؤدي ذلك إلى زيادة جهد القص المسلط على جزيئات الرسوبيات عن جهد القص الحرج لتلك الجزيئات وبالتالي حركتها باتجاه الجريان، وعند وصول هذه الجزيئات بالقرب من موقع السد تتجه إلى المسار الذي تكون فيه سرعة الجريان أكبر والذي يكون في موقع وجود الفتحات في قاعدة السد.

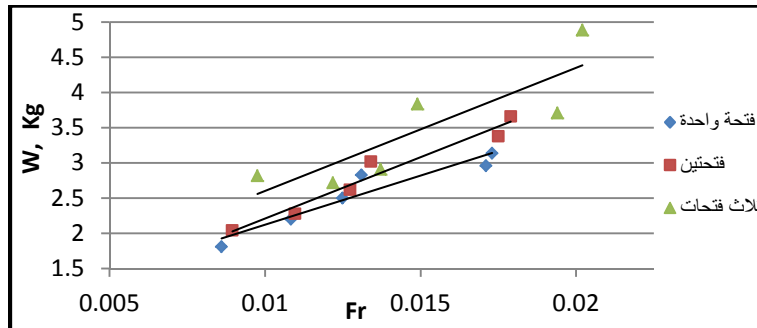
الجدول (1): البيانات المحسوبة من جميع التجارب

حالة السد الغاطس	التركيز (C)	التصريف (Q)، لتر/ثا	رقم فرود مقدم السد الغاطس (Fr)	كمية الرسوبيات المضافة (W _t)، كغم/ساعة	كمية الرسوبيات المزالة (W)، كغم	مساحة الفتحات السفلية (A _{bo})، سم ²
فتحة واحدة	200 ppm	30	0.0084	55.7	2.8	3.14
		33.4	0.01058	62.0	3.41	3.14
		37.8	0.01207	70.2	4.2	3.14
		41	0.0128	76.2	5.77	3.14
		45	0.0166	83.6	5.89	3.14
		50	0.017	92.9	6.42	3.14
	100 ppm	30	0.00853	27.9	2.1	3.14
		33.4	0.01066	31.0	2.38	3.14
		37.8	0.0122	35.1	2.76	3.14
		41	0.013	38.1	3.81	3.14
		45	0.017	41.8	3.84	3.14
		50	0.0171	46.4	4.02	3.14
	66.67 ppm	30	0.0086	18.6	1.81	3.14
		33.4	0.01083	20.7	2.2	3.14
		37.8	0.01249	23.4	2.5	3.14
		41	0.0131	25.4	2.83	3.14
		45	0.0171	27.9	2.96	3.14
		50	0.0173	31	3.14	3.14
فتحتان	200 ppm	30	0.0085	55.7	3.32	6.28
		33.4	0.01075	62.0	3.82	6.28
		37.8	0.01233	70.2	5.58	6.28
		41	0.013	76.2	6.58	6.28
		45	0.0168	83.6	6.82	6.28
		50	0.0177	92.9	6.88	6.28
	100 ppm	30	0.00864	27.9	2.36	6.28
		33.4	0.01096	31.0	2.64	6.28
		37.8	0.01244	35.1	3.46	6.28
		41	0.0132	38.1	4.06	6.28
		45	0.0171	41.8	4.48	6.28
		50	0.0174	46.4	4.66	6.28

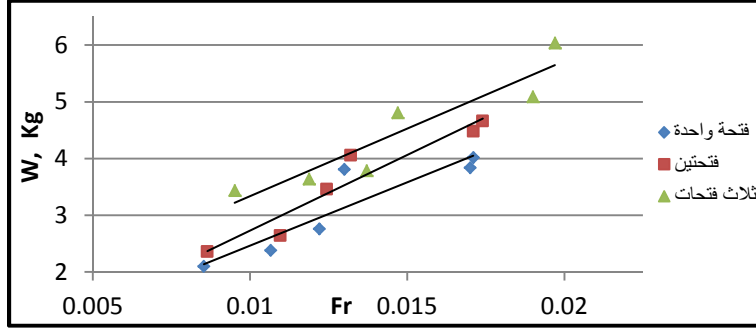
خليل: دراسة مختبرية لتخمين الرسوبيات المزالة من مقدم السدود الغاطسة باستخدام المنافذ السفلية

الجدول (1): تنمة

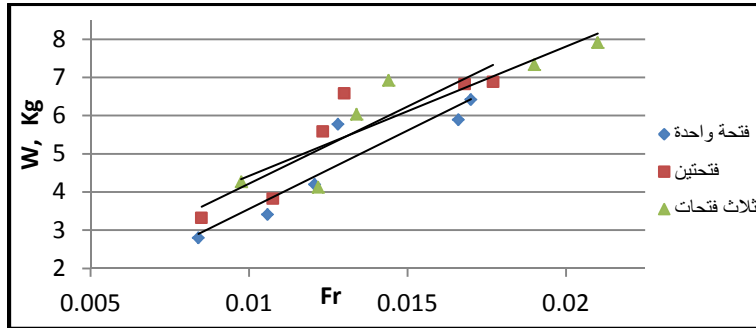
مساحة الفتحات السفلية (A_{bo}) ، سم ²	كمية الرسوبيات المزالة (W)، كغم	كمية الرسوبيات المضافة (W_t)، كغم/ساعة	رقم فرود مقدم السد الغاطس (F_r)	التصريف (Q)، لتر/ثا	التركيز (C)	حالة السد الغاطس
6.28	2.04	18.6	0.00895	30	66.67 ppm	ثلاث فتحات
6.28	2.28	20.7	0.01096	33.4		
6.28	2.62	23.4	0.01273	37.8		
6.28	3.02	25.4	0.0134	41		
6.28	3.38	27.9	0.0175	45		
6.28	3.66	31	0.0179	50		
9.42	4.26	55.7	0.00975	30	200 ppm	
9.42	4.12	62.0	0.01218	33.4		
9.42	6.03	70.2	0.01339	37.8		
9.42	6.92	76.2	0.0144	41		
9.42	7.33	83.6	0.019	45		
9.42	7.91	92.9	0.021	50		
9.42	3.44	27.9	0.00951	30	100 ppm	
9.42	3.64	31.0	0.01188	33.4		
9.42	3.79	35.1	0.01371	37.8		
9.42	4.81	38.1	0.0147	41		
9.42	5.09	41.8	0.019	45		
9.42	6.04	46.4	0.0197	50		
9.42	2.82	18.6	0.00975	30	66.67 ppm	
9.42	2.72	20.7	0.01218	33.4		
9.42	2.91	23.4	0.01371	37.8		
9.42	3.84	25.4	0.0149	41		
9.42	3.71	27.9	0.0194	45		
9.42	4.89	31	0.0202	50		



الشكل (7): العلاقة بين رقم فرود وكمية الرسوبيات المزالة للتركيز (66.67 ppm)



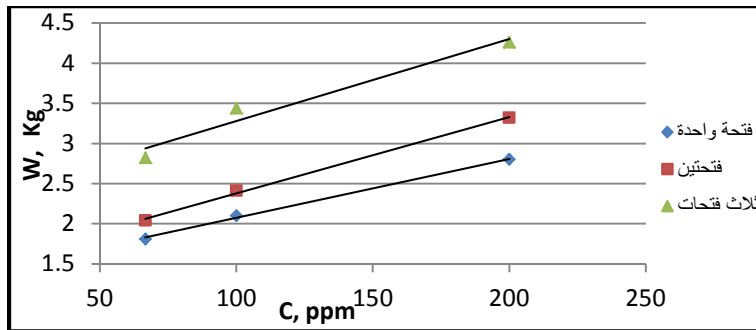
الشكل (8): العلاقة بين رقم فروود وكمية الرسوبيات المزالة للتركيز (100 ppm)



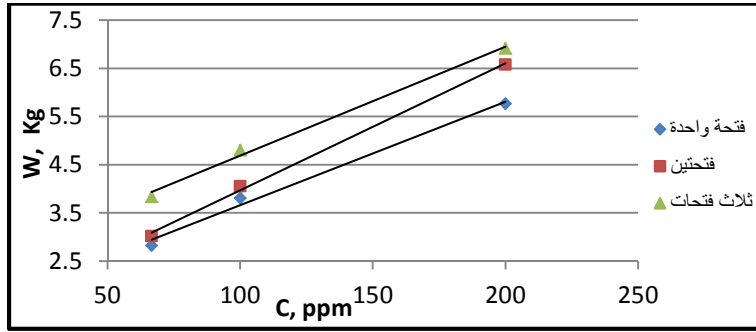
الشكل (9): العلاقة بين رقم فروود وكمية الرسوبيات المزالة للتركيز (200 ppm)

3. تأثير تركيز الرسوبيات على كمية الرسوبيات المزالة:

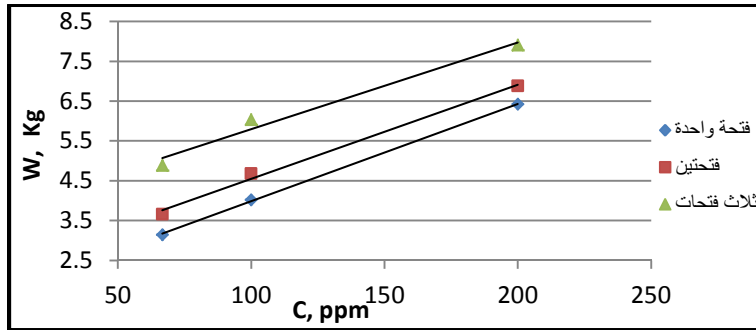
تم تحليل البيانات المتعلقة بكمية الرسوبيات المزالة والتركيز المدرجة في الجدول (1) وذلك برسم العلاقة بينهما كما مبين في الأشكال (10) و (11) و (12)، حيث تبين هذه الأشكال أن هناك علاقة طردية بين كمية الرسوبيات المزالة والتركيز ويعود السبب في ذلك إلى أنه في حالة التراكيز العالية يكون الماء محملاً بكمية رسوبيات أكبر منه في التراكيز القليلة مما يزيد من الكمية الخارجة عبر الفتحات.



الشكل (10): العلاقة بين التركيز وكمية الرسوبيات المزالة للتصريف (30 لتر/ثا).



الشكل (11): العلاقة بين التركيز وكمية الرسوبيات المزالة للتصريف (41 لتر/ثا).



الشكل (12): العلاقة بين التركيز وكمية الرسوبيات المزالة للتصريف (50 لتر/ثا).

صياغة معادلة وضعية لحساب كمية الرسوبيات المزالة

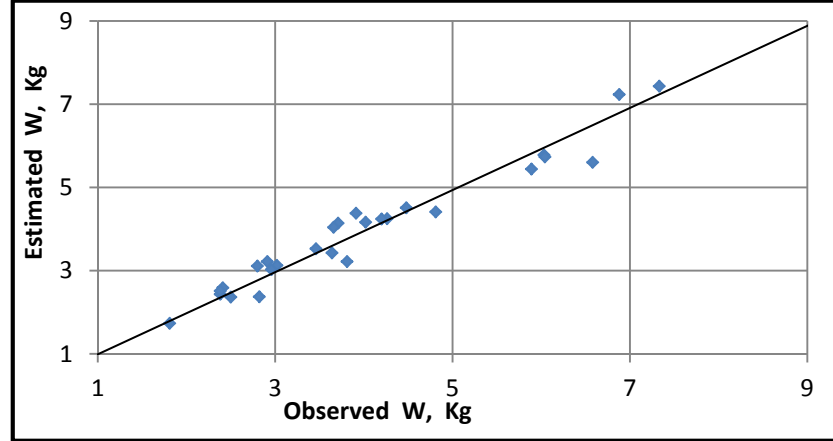
تم حساب المتغيرات اللابعدية المؤثرة في العلاقة (2) لغرض ايجاد معادلة وضعية تربط بين كمية الرسوبيات المزالة وبقية المتغيرات وادخالها في البرنامج الاحصائي (SPSS 11.5) لاستنتاج المعادلة المطلوبة علماً أنه تم استخدام نصف البيانات لإيجاد المعادلة والنصف الاخر للتأكد من دقتها وبالتالي تم ايجاد المعادلة التالية علماً أن معامل التحديد لها هو $(R^2 = 0.895)$:

$$\frac{W}{W_t} = 4.6786 \times \left(\frac{A_{bo}}{A_w}\right)^{0.261} \times C^{-0.462} \times F_r^{0.218} \quad \dots \dots \dots (3)$$

إذ أن:

F_r = رقم فرود، C = تركيز الرسوبيات (جزء بالمليون)، A_{bo} = مساحة الفتحات السفلية (L^2)، A_w = مساحة السد الغاطس (L^2)، W = كمية الرسوبيات المزالة (M)، W_t = كمية الرسوبيات المضافة (M).

لغرض التحقق من دقة المعادلة (3) تم ادخال البيانات التي لم تستخدم في ايجاد المعادلة وحساب كمية الرسوبيات المزالة منها وكما موضح في الجدول (2)، كما تم رسم البيانات المقاسة مع نظيرتها المحسوبة في الشكل (13)، وتم استخدام توزيع مربع فرق معنوي كاي لاختبار حسن الموافقة بين القيم الحقيقية والمحسوبة عند احتمالية (5%) ودرجة حرية (26) (يقصد بدرجة الحرية هو عدد البيانات الداخلة في حساب قيمة مربع كاي مطروحا منها واحد)، حيث تبين من نتيجة الاختبار الاحصائي أنه لا يوجد بين القيم المحسوبة والحقيقية حيث كانت ($Calculated < Tabulated$) أي أن $(0.73 < 38.885)$.



الشكل (13): القيم المقاسة والمحسوبة لكمية الرسوبيات المزالة.

الجدول (2): حساب قيم كمية الرسوبيات المزالة من المعادلة (3) مع نسبة الخطأ

نسبة الخطأ (%) Error (%)	الرسوبيات المزالة المحسوبة، كغم	الرسوبيات المزالة المقاسة، كغم	رقم فرود	التركيز (ppm)	$\frac{A_{bo}}{A_w}$
4.2	1.734	1.81	0.0086	66.67	0.0019
15.7	2.376	2.82	0.0097	66.67	0.0058
-7.4	2.589	2.41	0.0086	100	0.0039
-11.2	3.113	2.8	0.0084	200	0.0019
0.2	4.250	4.26	0.0094	200	0.0058
-2.5	2.440	2.38	0.0110	66.67	0.0039
-5.6	2.513	2.38	0.0107	100	0.0019
5.8	3.429	3.64	0.0119	100	0.0058
-12.2	4.385	3.91	0.0107	200	0.0039
5.3	2.368	2.5	0.0125	66.67	0.0019
-10.7	3.220	2.91	0.0137	66.67	0.0058
-1.9	3.527	3.46	0.0124	100	0.0039
-1.1	4.245	4.2	0.0121	200	0.0019
4.0	5.786	6.03	0.0134	200	0.0058
-3.6	3.129	3.02	0.0134	66.67	0.0039
15.4	3.224	3.81	0.0130	100	0.0019
8.2	4.414	4.81	0.0147	100	0.0058
14.8	5.608	6.58	0.0130	200	0.0039
-2.4	3.031	2.96	0.0173	66.67	0.0019
-11.7	4.143	3.71	0.0194	66.67	0.0058
-0.8	4.517	4.48	0.0174	100	0.0039
7.5	5.446	5.89	0.0170	200	0.0019
-1.4	7.435	7.33	0.0190	200	0.0058
-10.6	4.047	3.66	0.0175	66.67	0.0039
-3.7	4.170	4.02	0.0170	100	0.0019
5.0	5.739	6.04	0.0197	100	0.0058
-5.2	7.235	6.88	0.0168	200	0.0039

الاستنتاجات

من التجارب التي أجريت والنتائج التي تم الحصول عليها وضمن حدود هذه الدراسة يمكن استنتاج ما يأتي:

1. توجد علاقة طردية بين مساحة الفتحات السفلية وكمية الرسوبيات المزالة وتزداد شدة العلاقة في حالة زيادة تركيز الرسوبيات ذلك لوجود منفذ أكبر لعبور تلك الرسوبيات وإن الماء يكون محملاً بكمية رسوبيات أكبر في التراكيز العالية منه في التراكيز القليلة مما يعمل على زيادة الكمية الخارجة عبر الفتحات، كما أن عمق التكدس قرب السد الغاطس يقل مع زيادة عدد الفتحات السفلية.
2. هناك علاقة طردية بين سرعة الجريان وكمية الرسوبيات المزالة وذلك لأن زيادة السرعة تكون ناتجة عن زيادة التصريف والذي بدوره سيزيد من حمل الرسوبيات.
3. استنتاج معادلة وضعية لحساب كمية الرسوبيات المزالة بدلالة مساحة الفتحات وبمعامل تحديد (0.895) وأن النسبة المئوية لقيم معدل وأعلى وأقل فرق بين كمية الرسوبيات المزالة المقاسة والمحسوبة على أساس الوزن هي (6.59، 15.7، 0.2) على التوالي.

المصادر العربية

1. يوسف، عيسى الياس عيسى، (2006)، " دراسة مختبرية لخصائص التكدس مقدم السدود"، رسالة ماجستير، قسم هندسة السدود والموارد المائية، كلية الهندسة، جامعة الموصل.

المصادر الأجنبية

2. Alves, E., and Cardoso, A. H. (1999), "Experimental Study on Aggradation", International Journal of Sediment Research, Vol. 14, No. 1, pp. 1-15.
3. Aatur, Rahman, Md. and Abdul Matin, Md. (2010), "Numerical Modeling of Bed Level Changes of Alluvial River", Journal of Civil Engineering (IEB), Vol. 38, No. 1, pp. 53-64.
4. Elgohry, M., Ding, Y. and Wang, S. S. Y. (2011), "Optimal Sediment Control in Alluvial Rivers", World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability, ASCE 2011.
5. Greimann, B. (2005), "Movement of Sediment Accumulations", Conference of Managing Watersheds for Human and Natural Impacts, 19-22 July, 2005, Williamsburg, Virginia, U.S.A., Published by ASCE, Journal of Water Resources.
6. McCullough, M. C., Harper, J. L., Eisenhauer, D. E., and Dosskey, M. G. (2004), "Channel Aggradation By Beaver Dams on a Small Agricultural Stream in Eastern Nebraska", Conference of The Self-Sustaining Solutions for Streams, Wetlands, and Watersheds, 12-15 September, 2004, Radisson Riverfront Hotel St. Paul, Minnesota, U.S.A., Published by ASAE.